



## トマトの養液土耕栽培におけるリン酸無施肥および極微量灌水がリン酸収支に及ぼす影響

著者	渡邊 修一, 笠原 賢明, 吉川 弘恭
雑誌名	近畿中国四国農業研究センター研究報告
巻	10
ページ	41-51
発行年	2011-02-01
URL	<a href="http://doi.org/10.24514/00001707">http://doi.org/10.24514/00001707</a>

doi: 10.24514/00001707

# トマトの養液土耕栽培における リン酸無施肥および極微量灌水がリン酸収支に及ぼす影響

渡邊修一<sup>1</sup>・笠原賢明<sup>2</sup>・吉川弘恭<sup>1,2</sup>

Key words: リン酸無施肥, 養液土耕, トマト, 極微量灌水, 灰色低地土

## 目 次

I 緒 言	41	IV 考 察	46
II 方 法	42	1 リン酸無施肥の生育・養分吸収への影響	46
1 栽培概要	42	2 茎葉と果実でのリン酸分配の変化	47
2 調査および試料の採取	43	3 土壌中のトルオーグリン酸量の変化	47
3 分析方法	43	4 極微量灌水の効果	48
III 結 果	43	V 摘 要	48
1 地上部生育・果実収量	43	謝 辞	49
2 茎葉中および果実中の無機成分量	44	引用文献	49
3 土壌中の無機成分含量	45	Summary	51
4 土壌と作物体のリン酸収支	46		

## I 緒 言

肥料の主要3要素の中で、リン酸は天然のリン鉱石由来の成分であり、リン鉱石の世界の耐用年数(埋蔵量/採掘量)はおよそ130年と予測されている<sup>11, 16)</sup>。日本は、国内で利用するリンのほぼ全量を輸入に依存し、その多くが肥料として用いられている。このため、リン酸肥料の有効な利用方法に関する技術が古くから求められてきた。さらに、近年の肥料価格の高騰に伴い、リン酸肥料にかかるコストの削減に対する重要性は高まっている。一方、日本の多くの農耕地における可給態リン酸のレベルは、一般的な土壌診断基準における可給態リン酸の下限值10~20mg/100g乾土を超えており<sup>13, 20)</sup>、農耕地のリン酸は蓄積傾向にあると言える。特に、施設土壌においては可給態リン酸の過剰蓄積が進行している状態

にあり<sup>13)</sup>、リン酸過剰蓄積ハウスではリン酸施肥を大幅に削減するか、無リン酸栽培をすべきであるとの指摘<sup>3)</sup>もある。

本報告で検討する養液土耕栽培は、土壌を培地とし、肥料成分を含む液肥を灌水と同時に施用する栽培方法であり、従来の土耕栽培からの移行が容易で、灌水・施肥の省力化につながることから、近年、中山間地域の夏秋トマトで普及しつつある。この方法の特徴は、土壌からの養分供給力を利用した栽培が可能である点であり、土壌に蓄積したリン酸を活用する栽培体系を構築できれば、肥料コストの削減と土壌へのリン酸蓄積傾向の抑制が期待できる。

土壌中に蓄積されたリン酸と施肥リン酸のトマト生育への寄与を研究した例としては、伊藤ら<sup>5)</sup>は、雨よけハウスにおいて、土壌への富化を軽減しハウスを長期間使用するためには、トルオーグリン酸30mg/100g乾土以上あれば、リン酸無施肥にするこ

(平成22年7月30日受付, 平成22年12月3日受理)

<sup>1</sup> 広域農業水系保全研究チーム

<sup>2</sup> 中山間傾斜地域施設園芸研究チーム

本研究はプロジェクト研究「省資源プロ・省化学肥料型」の一部として行われた。

とを提案しており、小宮山ら<sup>10)</sup>は、リン酸過剰土壌におけるトマトのマグネシウム欠乏発症を検証する中で、重過石を用いてリン酸過剰にしたアロフェン質黒ボク土において、トルオーグリン酸50mg/100g乾土以上の場合には、リン酸を無施肥としても収量が変らないことを示している。さらに、林ら<sup>4)</sup>は、重焼リンでリン酸を富化した淡色黒ボク土を用いた隔離床栽培で、点滴灌水施肥栽培におけるリン酸の適正施肥の検討を行っており、液肥からのリン酸の有無がトマトの収量に影響しないトルオーグリン酸として20mg/100g乾土を示している。しかし、栽培現場では減収や品質低下を警戒して、リン酸減肥栽培に積極的に取り組む農家は少ない。これは、土壌中に蓄積されたリン酸と施肥リン酸の作物生育への寄与を定量的に示した研究が少ないことも一因となっている。特に、トマトに代表される果菜類では、栄養成長と生殖成長が同時進行するため、収穫物1tを生産するのに必要な養分吸収量に基づいた施肥設計<sup>14,19)</sup>を行う上で、茎葉と果実への分配の変化を明らかにすることは、リン酸施肥の有無による生育への影響や、リン酸吸収量の変化に伴った他の肥料成分の吸収量への影響を明らかにすることと並んで重要な課題である。

そこで、本報告では、トマトの養液土耕栽培において、リン酸施用栽培とリン酸無施用栽培でのリン酸収支から、施肥リン酸と土壌蓄積リン酸（有効態リン酸）が作物体（茎葉・果実）で吸収利用される割合を明らかにし、リン酸蓄積土壌条件でのリン酸減肥栽培の適応可能性を示すことを目的とした。

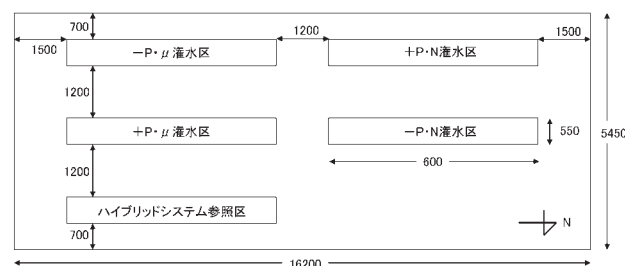
さらに、キクやマーガレット<sup>12)</sup>等の花き類においては、慣行点滴灌水施肥法より時間流量の少ない極微量灌水施肥法<sup>21)</sup>で、減肥効果が高いことが示唆されており、極微量灌水施肥法を用いた際のリン酸減肥との相乗効果についても検討した。

## Ⅱ 方 法

### 1 栽培概要

近畿中国四国農業研究センター四国研究センター（香川県善通寺市仙遊町）に設置された、パイプハウス内に、トルオーグリン酸 60.5mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g 乾土の灰色低地土を充填した全長 6 m×幅55cmの全農

ドレンベッドを第1図のように配置し栽培を行った。1ベッドあたり20株を株間30cmで定植し（1200本/10a）、30cmピッチの灌水チューブを用いて株元に灌水施肥を行った。品種は桃太郎8。栽培期間は2009年8月12日定植～12月24日終了の6段階摘心栽培とした。



第1図 試験区およびハイブリッド給液管理システム参照区の配置図（単位；mm）

+P は慣行施肥，-P は無リン酸施肥。N 灌水は通常灌水，μ 灌水は極微量灌水。

灌水施肥に用いた濃縮培養液は、大塚SA処方に準拠した慣行液肥と、大塚SA処方のうち大塚ハウスS1号（15kg/100L）の代わりに大塚ハウス3号、5号、6号を配合（それぞれ10.5kg、375g、3.75kg/100L）することでリン酸成分だけを除いた無リン酸液肥の2水準を設けた。液肥の供給は、ネタترون（ネタフィム社）を用いた2液混入方式で行ない、濃縮培養液の混入率は0.5%とした。液肥の組成を第1表に示した。

第1表 0.5%濃度培養液の成分濃度（ppm）

	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	N
大塚SA処方(+P)	52.5	231.7	30.0	172.6	150.0
無リン酸液肥(-P)	0.0	234.8	30.0	172.6	151.0

本試験においては、極微量灌水の効果を検討するために、吐出量制御機能付きのボタンドリッパー（PCJ-LCNLドリッパーウッドベッカータイプ2 L・h<sup>-1</sup>；ネタフィム）の下流にユニラムRCを二次給液管として接続し、吐出量を0.4 L・h<sup>-1</sup>とした極微量灌水（μ灌水）配管系を構築し、ユニラムRC（吐出量2.3 L・h<sup>-1</sup>；ネタフィム）を用いた通常灌水（N灌水）と比較することとした。この配管系を用いたμ灌水では、タイマ制御により灌水開始時刻を同期させることが可能であり、サブタイマによりμ

灌水区の灌水時間をおよそ6倍に調整することで灌水量も一致させることができる。この方法で、単位時間の吐出量だけを異にした灌水条件の比較をすることとした。

また、灌水の制御は、同じパイプハウス内に設置したロックウールを用いた固形培地耕（参照区）の余剰排水量を参照しながら、灌水量を自動制御するシステム（ハイブリッド給液管理システム）を利用した<sup>8)</sup>。養分供給の管理についても笠原ら<sup>7,8)</sup>の管理方法に準拠した。すなわち、参照区の排水中のECが1.5を超えたときには水のみを供給し、ECが低下したら再び養液の供給に切り替えるという手順で行った。栽培期間中の養液供給量は67.8L/株、水の水みの供給量は38.6L/株、両者を合計した総灌水量は106.4L/株であった。したがって、リン酸を含む慣行液肥施用を行った区で供給されたリン酸は3.55gP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/株であった。なお、ハイブリッド給液管理システムでは、作物の必要とする水分を過不足無く供給することから、隔離床から系外への排水は発生しなかった。

## 2 調査および試料の採取

調査は、各処理区に5株ずつ設けた調査対象株に対して行った。生育量は、摘心時の草丈および葉数を測定した。また地上部の試料は、草姿管理時に適葉した下葉（第1果房の摘果終了後と第2果房の摘果終了後に、それぞれの果房上位2葉までを摘葉。以下、それぞれ下葉①、下葉②と表記する。）および収穫終了時の茎葉部（4段果房上位2葉の部分で茎を切断し、下部を茎葉①、上部を茎葉②とした）を回収し乾物重量の測定および成分分析に用いた。脇芽、花芽、摘心時の生長点は回収しなかった。ただし、下葉①については、株ごとに分けずに一括して回収したため、各処理区の下葉①の数値は反復なし数値である。果実は、上記調査対象株から各果房別に収穫し収量を調査した。栽培は6段階摘心栽培であったが、栽培期間終了時点では、第5果房および第6果房の肥大や着色が不十分であったため、果実の成分分析は、成熟した第4果房までについて行った。なお、統計解析は、Tukeyの多重比較（5%水準で検定）および、施肥水準（慣行液肥施用（+P）と無リン酸液肥施用（-P））と灌水方法（N灌水と

μ灌水）の2要因分散分析を行った。

## 3 分析方法

茎葉部は、70℃で3日以上乾燥し乾物重を測定した。茎葉部の乾燥試料の一部を硫酸-過酸化水素により湿式分解し、分解液を成分分析に供試した。

果実は、新鮮果実をミキサーで粉碎しペースト状にした試料を、茎葉部同様に湿式分解し、分解液を成分分析に供試した。リン酸は、バナドモリブデン法により定量し、カリウム、マグネシウム、カルシウムは、原子吸光分析装置SpectrAA（バリアンテクノロジー）を用いて測定した。窒素は水蒸気蒸留法により定量した。果汁糖度は、ポケット糖度計PAL（アタゴ）で測定した。

土壌の無機成分分析に供した試料は以下のように採取した。定植前土壌試料は、各区のベッドについて、それぞれ3カ所からおよそ1kgを採取し、均一に混合し、風乾して2mmの篩いに掛けて調整し、全体で4反復の試料を得た。栽培後土壌試料は、表層を除いた後、各区の調査株5個体について、株元の周囲4カ所からおよそ1kgを移植ゴテで採取し、これらをバットの上で均一に混合し、風乾して2mmの篩いに掛けて調整し、各区5反復の試料を得た。採取位置は、株元から距離5～10cmの位置で、15cmまでの深さとした。栽培前後の有効態リン酸は、土壌試料からトルオーグ抽出リン酸を、モリブデンプール法で定量した。無機態窒素は、2M塩化カリウム抽出し、デバルダ合金還元-水蒸気蒸留法により定量した。交換性のカリウム、マグネシウム、カルシウムは、1M酢酸アンモニウム（pH7.0）で抽出後、原子吸光分析装置で定量した。

## Ⅲ 結 果

### 1 トマトの生育および果実収量

摘心時の草丈、葉数は、+P・N灌水區で210cm・32.8枚、+P・μ灌水區で197cm・31.0枚、-P・N灌水區で213cm・32.0枚、-P・μ灌水區で213cm・31.6枚であり、いずれの処理区間においても有意差はなかった（データ省略）。採取部位別の乾物重についても差はなく、栽培終了時の総乾物重は、+P・N灌水區で213.5g、+P・μ灌水區で



201.3g, -P・N灌水區で216.5g, -P・ $\mu$ 灌水區で206.4gであり, リン酸施用の有無の影響はなく, N灌水區の方が $\mu$ 灌水區よりも高い傾向があったが有意差はなかった(第2表). また, 外見的なリン酸欠乏症状<sup>17)</sup>は観察されなかった.

第4果房までの果実収量(成熟果)は, +P・N灌水區で2389g, +P・ $\mu$ 灌水區で2385g, -P・N灌水區で2455kg, -P・ $\mu$ 灌水區で2606kgであり, 有意差は認められなかった(第3表).

果実糖度(Brix%)は, いずれの区でも果房別に見ると上位の果房ほど糖度が低くなる傾向にあったが, 全収穫果の糖度は, +P・N灌水區で5.2~7.1, +P・ $\mu$ 灌水區で4.8~6.7, -P・N灌水區で5.6~7.0, -P・ $\mu$ 灌水區で5.6~7.0で, いずれの処理間でも有意な差は認められなかった(データ省略). なお, 本試験では, ハイブリッド給液管理システムを用いた灌水制御を行ったが, 参照区の4段階摘心栽培の収量は2.5kg/株, 糖度も4.7~6.3と標準的な収量, 品質の果実が得られており, 灌水量等の制御は正常に行われていた(データ省略).

## 2 茎葉および果実中の無機成分含量

茎葉中のリン酸含量は, リン酸無施肥の影響によって, 顕著に低下していた(第2表). 分散分析の結果, 下葉②, 茎葉①, 茎葉②のリン酸含量に対して, 施肥水準による影響が有意であった. 下葉②と茎葉①のリン酸含量は, 施肥水準間の比較では+P>-Pでリン酸施肥条件による影響が認められた. さらに, 灌水方法との有意な交互作用が認められ, 灌水方法の間で比較すると, +Pでは,  $\mu$ 灌水>N灌水であったが, -Pでは, N灌水> $\mu$ 灌水と, リン酸含量の大小関係が逆の傾向になっていた. 茎葉②のリン酸含量は, 施肥水準間の比較では+P>-Pでリン酸施肥条件による影響が認められた.

リン酸以外の成分については, 茎葉①の窒素含量について, リン酸施肥条件による影響が認められたが, カリウム, カルシウム, マグネシウムの含量に関しては, 施肥水準, 灌水方法いずれについても影響を受けなかった(第2表).

果実においても, リン酸無施肥の影響によって, リン酸含量は低下していた(第3表). リン酸含量は, 同じ灌水方法の間で比較すると, すべての果房

第2表 茎葉乾物重と茎葉中の無機成分含量

	部位	+P		-P		分散分析		
		N灌水	$\mu$ 灌水	N灌水	$\mu$ 灌水	施肥水準	灌水方法	交互作用
乾物重	下葉①	16.0	13.5	13.6	20.4	-	-	-
	下葉②	50.6	53.5	56.1	52.5	ns	ns	ns
	茎葉①	92.2	77.3	92.5	84.9	ns	ns	ns
	茎葉②	54.6	57.1	54.3	48.6	ns	ns	ns
	合計	213.5	201.3	216.5	206.4	ns	ns	ns
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	下葉①	5.8	6.9	3.9	4.4	-	-	-
	下葉②	6.6 b	8.2 c	5.0 ab	4.5 a	***	ns	*
	茎葉①	4.8 b	5.9 b	2.7 a	2.5 a	***	ns	*
	茎葉②	2.1 ab	2.7 b	0.9 a	1.4 ab	*	ns	ns
K <sub>2</sub> O	下葉①	33.6	50.4	36.2	52.3	-	-	-
	下葉②	55.6	61.1	54.6	57.5	ns	ns	ns
	茎葉①	35.6	37.7	34.7	35.9	ns	ns	ns
	茎葉②	38.9	42.4	36.1	40.1	ns	ns	ns
CaO	下葉①	71.1	76.2	69.7	79.5	-	-	-
	下葉②	47.1	45.3	46.5	45.2	ns	ns	ns
	茎葉①	34.2	29.6	36.3	32.6	ns	ns	ns
	茎葉②	32.9	30.4	33.3	32.3	ns	ns	ns
MgO	下葉①	13.1	11.6	11.2	11.9	-	-	-
	下葉②	11.1	10.7	11.6	11.3	ns	ns	ns
	茎葉①	8.2	8.6	7.3	8.1	ns	ns	ns
	茎葉②	8.4	7.8	8.6	8.3	ns	ns	ns
N	下葉①	25.2	24.3	26.3	24.0	-	-	-
	下葉②	24.3	23.9	22.5	22.7	ns	ns	ns
	茎葉①	17.0 b	16.0 ab	13.9 a	14.3 ab	**	ns	ns
	茎葉②	15.0	13.6	13.6	13.5	ns	ns	ns

+Pは慣行施肥, -Pは無リン酸施肥. N灌水は通常灌水,  $\mu$ 灌水は極微量灌水. 乾物重の単位はg, 無機成分含量の単位は乾物あたりmg/g. 数値はn=5の平均値. 文字無し項目および同一文字間に有意差なし(Tukey 5%). \*\*\*は0.1%水準で有意, \*\*は1%水準で有意, \* 5%水準で有意, nsは有意ではない. ただし, 下葉①は5株分をまとめて分析した値のため反復のデータとはならない.

第3表 果実収量と果実中の無機成分含量

	果房	+P		-P		分散分析		
		N灌水	$\mu$ 灌水	N灌水	$\mu$ 灌水	施肥水準	灌水方法	交互作用
収量	1段目	686	490	501	373	ns	ns	ns
	2段目	609	599	615	547	ns	ns	ns
	3段目	643	605	643	832	ns	ns	ns
	4段目	451	691	696	854	ns	ns	ns
	合計	2389	2385	2455	2606	ns	ns	ns
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1段目	0.24 ab	0.33 b	0.23 a	0.31 ab	ns	**	ns
	2段目	0.47 b	0.36 ab	0.34 a	0.24 a	***	**	ns
	3段目	0.53 b	0.43 ab	0.46 ab	0.36 a	ns	**	ns
	4段目	0.41	0.39	0.45	0.36	ns	ns	ns
K <sub>2</sub> O	1段目	3.29 ab	1.83 b	3.01 ab	3.57 a	ns	ns	*
	2段目	3.81	3.48	3.37	3.39	*	ns	ns
	3段目	2.89	2.87	2.92	2.65	ns	ns	ns
	4段目	2.83	2.76	2.93	3.00	ns	ns	ns
CaO	1段目	0.03 b	0.02 ab	0.03 ab	0.02 a	ns	**	ns
	2段目	0.03	0.03	0.03	0.03	ns	ns	ns
	3段目	0.03 ab	0.03 a	0.05 b	0.04 ab	*	ns	ns
	4段目	0.03	0.03	0.04	0.04	ns	ns	ns
MgO	1段目	0.14 a	0.19 b	0.14 a	0.15 a	*	**	*
	2段目	0.23	0.20	0.22	0.23	ns	ns	ns
	3段目	0.19	0.18	0.20	0.17	ns	ns	ns
	4段目	0.16	0.17	0.18	0.19	ns	ns	ns
N	1段目	1.39	1.74	1.37	1.43	ns	ns	ns
	2段目	1.66	1.36	1.45	1.46	ns	ns	ns
	3段目	1.14	1.12	1.18	1.05	ns	ns	ns
	4段目	1.02	0.97	1.15	1.16	ns	ns	ns

+P は慣行施肥, -P は無リン酸施肥. N 灌水は通常灌水,  $\mu$  灌水は極微量灌水. 果実収量の単位はg. 無機成分含量の単位は新鮮果実重量あたりmg/g. 数値はn=5 の平均値. 文字無し項目および同一文字間に有意差なし(Tukey 5%). \*\*\*は0.1%水準で有意, \*\*は1%水準で有意, \* 5%水準で有意, ns は有意ではない.

で, +P>-Pの関係にあった. 一方で, 同じ施肥条件間で比較した場合, 第1果房では,  $\mu$ 灌水>N灌水であったのに対し, 第2果房~第4果房では, N灌水> $\mu$ 灌水であった. 4段果のリン酸含量については, いずれの要因による有意な差も認められなかった.

リン酸以外の無機成分に関しては, 分散分析の結果, 第1果房のマグネシウム, 第2果房のリン酸, カリウム, 第3果房のカルシウムにおいて, 施肥水準による影響が有意であった(第3表). また, 第1果房~第3果房のリン酸含量と, 第1果房のカルシウム, マグネシウム含量に対して, 灌水方法の違いの影響が有意であった. 第1果房のカリウム, マグネシウム含量には交互作用が見られた. カリウム含量は第1果房で, +P・ $\mu$ 灌水區が-P・ $\mu$ 灌水區よりも有意に低かった. カルシウム含量は, 第1果房では, N灌水> $\mu$ 灌水の傾向があり. 第3果房ではいずれの灌水方法においても, -P>+Pの関係であった. マグネシウムは, 第1果房の+P・ $\mu$ 灌水區で有意に高かった.

### 3 土壌中の無機成分含量

栽培前後の土壌を比較すると, トルオーグリン酸については, 栽培前が60.5mgP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g乾土だったのに対し, +P・N灌水では63.2mg/100g乾土, +P・ $\mu$ 灌水では63.7mg/100g乾土であり, 有意差はないが, ともに増加していた. 一方, -P・N灌水では55.2mg/100g乾土, -P・ $\mu$ 灌水では54.7mg/100g乾土であり, ともに有意な差で減少していた(第4表). 交換性カリウム, 交換性カルシウム, 無機態窒素はいずれも処理にかかわらず減少していた.

栽培後の土壌の無機成分含量に関して, 分散分析を行った結果, 施肥水準の影響が有意となった項目は, トルオーグリン酸の他, 交換性カリウム, 交換性カルシウム, 硝酸態窒素であった. アンモニア態窒素および硝酸態窒素では, 灌水方法の違いによる影響が有意であった. リン酸, カリウム, 硝酸態窒素は+P>-Pの関係が見られ, カルシウムは-P>+Pの関係が見られた.

第 4 表 栽培ベッド土壌中の無機成分含量

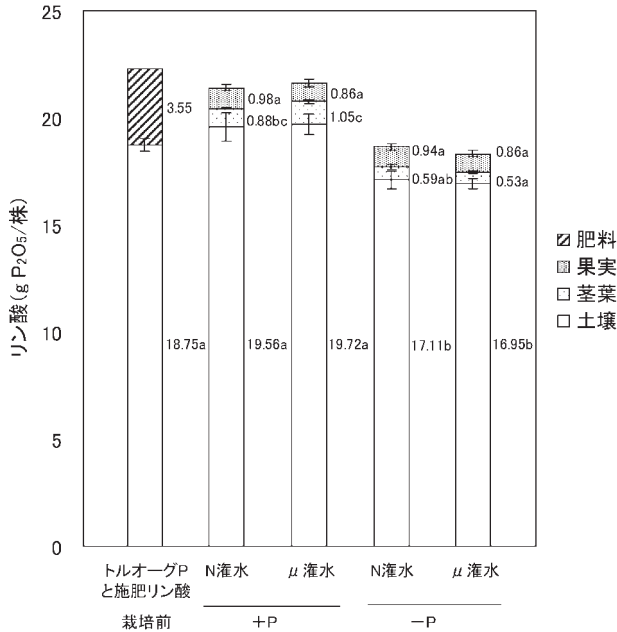
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
栽培前土壌		60.5 a	29.4 a	308.6 b	33.4	1.37 b	5.25 c
+P	N 灌水	63.1 a	17.4 ab	272.7 a	34.4	0.59 a	0.67 a
	μ 灌水	63.6 a	17.0 ab	265.5 a	41.9	0.31 a	0.36 ab
-P	N 灌水	55.2 b	17.3 ab	289.6 ab	34.9	0.57 a	0.27 b
	μ 灌水	54.7 b	12.0 b	291.2 ab	37.2	0.52 a	0.16 b
分散分析	施肥水準	***	*	***	ns	ns	**
	灌水方法	ns	ns	ns	ns	*	*

+P は慣行施肥，-P は無リン酸施肥．N 灌水は通常灌水，μ 灌水は極微量灌水．単位はmg/100g 乾土．数値はn=5 の平均値．ただし，栽培前土壌については，4 つの栽培ベッドから採取した土壌の平均値．文字無し項目および同一文字間に有意差なし(Tukey 5%)．分散分析は，栽培後の土壌のデータだけについて行った．\*\*\*は0.1%水準で有意，\*\*は1%水準で有意，\* 5%水準で有意，ns は有意ではない．

4 土壌と作物体のリン酸収支

土壌－茎葉－果実におけるトマト 1 株あたりのリン酸収支について第 2 図に示した．ここでは，トマト 1 株あたりの根圏のトルオーグリン酸の量をトマト 1 株あたりの土壌容量（ベッドに充填した土壌量÷20株/ベッド=31kg）から計算し，栽培前後で

ゼロであった．なお，栽培管理で除去した脇芽や摘心部位，下葉①，未成熟果実，根のリン酸については残渣とし，第 2 図には含めなかった．栽培前の土壌中のトルオーグリン酸は 1 株当たり 18.75g であり，+P 条件で液肥として施用されたリン酸は 1 株あたり 3.55g であった．このうち，作物体に吸収されたリン酸は，N 灌水が 1.86g，μ 灌水が 1.91g であり，栽培後の土壌のトルオーグリン酸はそれぞれ N 灌水が 19.56g，μ 灌水が 19.72g に増加した．一方，培養液からリン酸を除いた -P 条件で作物体に吸収されたリン酸は，土壌中の有効態リン酸から供給され N 灌水が 1.53g，μ 灌水が 1.39g であった．栽培後土壌のトルオーグリン酸は N 灌水で 17.11g，μ 灌水で 16.95g に減少した．



第 2 図 トマト 1 株あたりの土壌－茎葉－果実におけるリン酸収支．

+P は慣行施肥，-P は無リン酸施肥．N 灌水は通常灌水，μ 灌水は極微量灌水．各項目ごとの同一文字間に有意差無し（Tukey 5%）．エラーバーは標準誤差（n=5）．

のトルオーグリン酸の変化量を試算した．さらに，1 株あたりの地上部リン酸吸収量（茎葉部の下葉②と茎葉①，②および果実の第 1～第 4 果房までの合計）を計算した．また，リン酸供給量は，慣行施肥では，リン酸施肥量：3.55g/株，リン酸無施肥では

IV 考 察

1 リン酸無施肥の生育・養分吸収への影響

トマトのリン酸欠乏の特徴としては，生育速度の低下，作物全体が硬化，葉色の変化（暗緑色から赤紫色に近い色になる），果実は小径化，成熟の遅れ<sup>22)</sup>等が挙げられる．また，養液栽培のトマトにおいて，リン酸の施肥量を少なくすると，収量の低下が起こる<sup>7)</sup>と報告されている．しかし，本研究での養液土耕栽培のトマトにおいては，草丈，葉数，乾物重などの地上部生育や果実収量については，リン酸施用条件による著しい違いは認められず，形態的なリン酸欠乏症状も観察されなかった．このことは，本研究で用いた土壌のトルオーグリン酸の値が P で 60.5mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g 乾土で，既往<sup>4,5,9)</sup>の土壌蓄積リン酸を利用した栽培におけるリン酸無施肥栽培が可能

なトルオーグリン酸値と比較しても高い数値であり、リン酸無施肥条件下でも、トマトが生育するために必要なリン酸を培地から吸収できたためであると考えられる。また、トマトの養分吸収特性については、リン酸吸収量とカリウムの吸収量には正の相関関係があり、カルシウム、マグネシウムとは負の相関関係がある<sup>10)</sup>と報告されているが、本報告においては、茎葉・果実中の無機成分含量の分散分析の結果からは、リン酸含量以外で、一定の傾向を持った有意な影響は見られなかった（第2表、第3表）。

## 2 茎葉と果実でのリン酸分配の変化

茎葉および果実中のリン酸含量は－Pで低下する傾向にあった（第2表、第3表）。また、第2図においても、1株あたりのリン酸吸収量は－Pで低下する傾向にあったが、有意差が見られたのは、茎葉においてのみであり、果実では有意差は見られなかった。第2図において果実のリン酸吸収量に有意差がなかった原因としては、果実収量と果実中リン酸濃度との間に負の相関関係が見られなかった（データ省略）ことから、果実中のリン酸含量に対する灌水方法の影響が、1段目と2・3段目で逆転していたことや、果房ごとの果実収量のばらつきが大きかったことが影響したものと考えられる。

ここで、第2図から各部位へのリン酸分配量の比率（％）（ $-P/+P \times 100$ ）を計算してみると、茎葉ではN灌水が67.0％、 $\mu$ 灌水が50.4％、果実ではN灌水が96.7％、 $\mu$ 灌水が99.7％であり、リン酸無施肥によるリン酸含量の低下は、茎葉で大きく、果実では小さかった。さらに、果実へのリン酸の分配比率（果実／（果実＋茎葉） $\times 100$ ）を求めると、＋PではN灌水が49.9％、 $\mu$ 灌水が43.0％であったのに対し、－PではN灌水が59.9％、 $\mu$ 灌水が58.4％と果実への分配比率が10％程度高くなっていたことが分かった。この数値は4段目までの果実データから算出しているため、6段目まで果実を含んだ場合にはさらに割合が大きくなる可能性がある。

リン酸欠乏条件下では、結実期のトマトの展開葉においてリン酸含量が低下する<sup>2)</sup>ことが報告されている。本研究における茎葉のリン酸含量の低下は、これらのリン酸欠乏時の反応に類似しているが、リン酸無施肥栽培したトマトに外観上のリン酸欠乏症

状は見られなかったことから、－Pでの茎葉中のリン酸含量は、適正な数値であったと考えられる。また、可食部である果実のリン酸やその他の無機成分もリン酸減肥の影響を受けていないことから果実品質の面でも、無リン酸栽培は問題がない。

ここで、作物体吸収リン酸量を果実収量で除することにより、トマト果実1kgあたり生産するのに必要なリン酸（ $P_2O_5$ ）の量を計算してみると、＋PではN灌水が0.77g、 $\mu$ 灌水が0.80gであったのに対し、－PではN灌水が0.62g、 $\mu$ 灌水が0.53gと－Pで2～3割少なく、単位リン酸あたりの生産効率は、＋Pで低かったことを意味している。このことは、＋Pにおける茎葉部へのリン酸集積が理由であり、伊藤ら<sup>5)</sup>も指摘しているように、いわゆる“贅沢吸収”が生じていたと考えることができる。

## 3 土壌中のトルオーグリン酸量の変化

第2図において、施肥リン酸に対する、＋P区の植物体吸収量は、N灌水が52.9％（1.86g/3.55g）、 $\mu$ 灌水が53.8％（1.91g/3.55g）であった。この数値は残渣分を含んでいないため、やや低めに見積もられているが、今回慣行施肥として用いた施肥量では4割程度が余剰リン酸となっていた可能性を示唆している。

林ら<sup>4)</sup>は、リン酸吸収係数の大きいアロフェン質黒ボク土を用いた養液土耕栽培において、作物吸収量を上まわって施肥された余剰リン酸のうち、栽培後土壌のトルオーグリン酸増加分に反映された量は、2割程度であったと報告しているが、リン酸吸収係数の小さい灰色低地土を用いた本研究では、余剰リン酸のうち栽培後のトルオーグリン酸増加分に反映された割合は、N灌水が47.9％（0.81g/1.69g）、 $\mu$ 灌水が59.1％（0.97g/1.64g）であった。

北村ら<sup>9)</sup>は、トルオーグリン酸が50mg/100g乾土以上の土壌では、施肥リン酸の吸収は、土壌から吸収されるリン酸に比べて低くなることを報告しており、灰色低地土でリン酸の過剰施用が行われると、余剰分が土壌に蓄積し、さらにその蓄積の影響で、施肥リン酸の利用効率が低下するという悪循環につながる危険性が示唆される。

従って、リン酸施肥栽培での土壌蓄積リン酸が増加しない程度の減肥を考えるならば、作物に吸収さ



れなかった余剰リン酸のうち土壌に固定されずにトルオーグリン酸として土壌に蓄積したリン酸の分を施肥リン酸から削減するのが適当と考えられ、慣行施肥量の2割～3割削減に相当すると試算できる。

一方で、リン酸無施肥では、植物体のリン酸吸収量は、栽培前土壌に対する栽培後土壌のトルオーグリン酸の減少量とよく一致していた。そこで、栽培前土壌のトルオーグリン酸に対する作物体吸収リン酸の割合を計算すると、N灌水が8.2% (1.53g/18.75g)、 $\mu$ 灌水が7.4% (1.39g/18.75g)であった。このことから、本試験のような作型（6段階摘心栽培）であれば、計算上、およそ12作はリン酸無施肥栽培が可能と考えられる。しかし、水稻における連年リン酸無施肥栽培では、数年で減収が起こることが報告されており<sup>15)</sup>、実際には経年的にリン酸含有率が低下し、それに伴って利用効率も低下する可能性がある。

こうしたことから、リン酸減肥栽培あるいはリン酸無施肥栽培を行うためには、土壌診断に基づいたトルオーグリン酸量の動向を把握しつつ、収穫物の生産に必要なリン酸量との収支に基づいた施肥設計を行うことが重要となる。また、その際には、土壌型によるリン酸吸収係数の違いに留意しなければならない。

#### 4 極微量灌水の効果

点滴灌水の単位時間あたりの給液量の違いが作物の生育に及ぼす影響の有無に着目して行った研究では、トウモロコシでは単位時間あたりの給液量の少ない方法で収量が多くなる<sup>1)</sup>という報告があるものの、トマト<sup>6)</sup>やカリフラワー<sup>18)</sup>（いずれも露地栽培）では、収量に影響がないと報告されており、生育に対する効果は判然としていない。本報告では、生育に影響はないという結果となった。

一方で、リン酸吸収への極微量灌水の影響としては、茎葉・果実のリン含量に対しての分散分析の結果から、果実においては、灌水方法による効果が有意であることが認められ（第3表）、茎葉においては、施肥水準と灌水方法の交互作用が（第2表）認められた。ただし、リン酸以外の無機成分含量については、全体として、茎葉・果実ともに、灌水方法の違いによる影響は認められなかった。また、果実

中のリン酸含量への灌水の効果については、第1果房では $\mu$ 灌水でリン酸含量が高かったのに対し、第2果房、第3果房では、N灌水の方が高く、灌水による効果は、果房の位置によって異なった。これらの現象に対しては、リン酸とそれ以外の無機成分の土壌中での吸着や拡散等の挙動の違い、根による吸収特性への影響、あるいは、生育ステージや着果位置による養分の分配パターンの経時的な変化などについて、議論する必要があるが、リン酸収支への影響に関して取り組んだ本報告のデータのみからは、十分な検討はできない。今後、極微量灌水と減肥効果の関係を明らかにするためには、上記のような点に焦点を絞った詳細な検証が必要である。

#### V 摘 要

トマトの養液土耕栽培におけるリン酸施用栽培とリン酸無施用栽培でのリン酸収支から、施肥リン酸と土壌蓄積リン酸が作物体に吸収利用される割合を明らかにし、リン酸蓄積土壌条件でのリン酸減肥栽培の適応可能性を示すとともに、極微量灌水施肥法を用いた際のリン酸減肥との相乗効果についても検討した。培地土壌は、トルオーグリン酸60.5mg/100g乾土の灰色低地土を用いた。

- 1) リン酸施肥の有無、灌水方法の違い、いずれにおいても、生育量・収量に対する差は認められなかった。
- 2) リン酸無施肥によるリン酸含量の低下は、果実よりも茎葉で顕著であった。作物体吸収リン酸の果実への分配比率はリン酸無施肥時に10%程度高かった。トマト果実1kgあたり生産するのに必要な養分量は、慣行に比べて、リン酸無施肥で2割～3割少なくなっており、生産効率が高かった。
- 3) リン酸を含む液肥を用いた慣行施肥栽培では、施肥リン酸の利用効率は6割程度であり、また余剰分の5～6割がトルオーグリン酸として土壌に蓄積した。これらからリン酸減肥の可能な範囲を2～3割と試算した。
- 4) リン酸無施肥栽培では、作物吸収リン酸と土壌トルオーグリン酸の減少分は一致しており、利用されたリン酸は栽培前土壌中のトルオーグリン

ン酸の7～8%程度であった。

- 5) 極微量灌水の影響については、生育量・収量に対する差は認められず、リン酸吸収に対する効果も明確ではなかった。

## 謝 辞

本研究を遂行するにあたって、栽培施設の整備および栽培管理において、支援いただきました業務第2科の山下大朗氏、香川将志氏、松崎健文氏、塩本知氏に対しまして感謝の意を表します。また、試料の分析にご協力いただいた岡田洋子氏、石川博氏に対しまして、ここに感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) Assoluline S., S. Cohen, D. Meerbach, T. Harodi, M. Rosner 2002. Microdrip irrigation of field crops : Effect on yield, water uptake, and drainage in sweet corn. Soil Sci. Soc. Am. J. 66 : 228 - 235
- 2) Gerald E. W. 1993. Tomato. Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. W. F. Bennett. APS PRESS, USA. 137 - 141.
- 3) 後藤逸男 2004. 土壌のリン酸過剰と土壌病害の発生. 農業技術大系土壌肥料編第5-①巻. 追録第15号, 畑40の2-8.
- 4) 林康人・加藤雅彦・小林新・久保省三 2006. 点滴灌水施肥栽培における土壌の養分含量を考慮したリン酸の適正施肥. 土肥誌 77 : 555 - 561.
- 5) 伊藤千春・小野寺徹・飯塚文男・小野イネ 1998. リン酸蓄積ハウスにおけるトマトのリン酸無施用栽培. 東北農業研究 51 : 215 - 216.
- 6) Karlberg L., J. Rockstrom, G. J. Annandale, S. J. Martin 2007. Low-cost drip irrigation - A suitable technology for southern Africa? An example with tomatoes using saline irrigation water. Agricultural Water Management 89 : 59 - 70.
- 7) 笠原賢明・吉川弘恭・東出忠桐・伊吹俊彦 2009. 養液栽培における排液再利用法の検討. 近中四農研報 8 : 91 - 101.
- 8) ———・渡邊修一・吉川弘恭・柴田昇平 2011. 循環式養液栽培装置への培養液供給動作を参照して給液制御するかけ流し式養液栽培装置の開発. 近中四農研報 10 : 99 - 108.
- 9) 北村秀教・今泉諒俊・沖村逸夫 1982. リン酸富化土壌におけるリン酸の肥効 (第1報) 初期生育における施肥リン酸の肥効. 愛知県農総試研報 14 : 271 - 277.
- 10) 小宮山鉄平・藤澤英司・新妻成一・加藤雅彦・森国博全 2009. 隔離床栽培における土壌可給態リン酸含量がトマトの養分吸収に与える影響. 土肥誌 80 : 516 - 521.
- 11) 黒田章夫・滝口昇・加藤純一・大竹久夫 2005. リン資源枯渇の危機予測とそれに対応したリン有効利用技術開発. 環境バイオテクノロジー学会誌 4 : 87 - 94.
- 12) 村口浩・松本由利子・阿部政人・横田和志・吉川省子・渡邊修一・井上久義・中尾誠司・吉川(山西)弘恭 2005. 日本における超低流速灌水システム発展の可能性-Ⅲ, 超低流速灌水システムを利用したマーガレット栽培-. 農業および園芸 81 : 81 - 84.
- 13) 小原洋・中井信 2004. 農耕地土壌の可給態リン酸の全国変動 農耕地土壌の特性変動 (Ⅱ). 土肥誌 75 : 59 - 67.
- 14) 六本木和夫・加藤俊博 2000. 野菜・花卉の養液土耕. 農文協, 東京. 148 - 155.
- 15) 東海林覚・樋口福男・鈴木多賀 1971. 蓄積リン酸の水稲の生育, 収量におよぼす影響ならびに水稲の作付けによる土壌リンの形態変化について. 土肥誌 42 : 118 - 123.
- 16) U. S. Geological survey. 2004. Mineral Commodity Summaries, January 2004.
- 17) 渡辺和彦 1997. 野菜の要素欠乏症状と過剰症. タキイ種苗株式会社出版部監修. 東京. 7 - 10.
- 18) Westarp S. V., S. Chieng, H. Schreier 2004. A comparison between low-cost drip irrigation, conventional drip irrigation, and hand watering in Nepal. Agricultural Water Management 64 : 143 - 160.
- 19) 山崎浩司 1998. 養分吸収の特徴と施肥の考え方. 農業技術大系野菜編第1. 追録第23号, 基の345 -

348.

- 20) 吉池昭夫 1983. 農耕地における施肥リン酸の蓄積について. 土肥誌 54: 255-261.
- 21) 吉川弘恭 2009. 有機質培地を利用した養液栽培. 伊吹俊彦・家常高編著, 近畿中国四国農業研究叢書 傾斜地特有の資源を活用した低コスト施設栽培 - 四国傾斜地農業の経営改善に向けた総合研究 -. 農林統計出版, 東京. 155-159.
- 22) 全農肥料農薬部 2002. 営農指導員のためのトマトの栽培と栄養・生理障害. 東京. 56-57.

## Influence of Drip Fertigation using Phosphate-deficient Solution on the Utilization of Phosphate Accumulated in the Soil and the Distribution of Phosphate in Tomatoes.

Shuichi WATANABE<sup>1</sup>, Yoshiaki KASAHARA<sup>2</sup> and Hiroyasu YOSHIKAWA<sup>1,2</sup>

### Summary

To prevent phosphorus accumulation in the facilities' soil and effectively use the phosphorus resource, the influence of drip fertigation using phosphate-deficient solution on the distribution of phosphate between soil and plant body was examined. The soil used in this study was gray lowland soil. In addition, the synergistic effect of ultra-micro-drip irrigation under reducing application of phosphorus fertilizer was examined. By using phosphate-deficient solution, neither the amount of growth nor the fruit yield decreased. The phosphate content was decreased more remarkable in a stem and leaf than the fruit, and the distribution ratio of the fruit to the crop body was 10% higher. The quantity of the phosphoric acid which was necessary to produce tomato fruit 1kg was lower 20% in the phosphate-deficient solution than the conventional cultivation. The rate of the absorbed phosphate to the fertilized phosphate was around 60% by the conventional solution. Then 50-60% of surplus phosphate which was not absorbed by crops was accumulated in the soil as Truog-P. By using phosphate-deficient solution, the amount of used phosphate absorbed by crops was around 8% of the total amount of Truog-P in the soil before cultivation. As a result, The amount of phosphate which can be reduced from conventional solution application was estimated as 20%. No remarkable synergistic effect was observed during ultra-micro-drip irrigation.

---

<sup>1</sup> Research team for Conservation of Agricultural Watershed

<sup>2</sup> Research team for Protected Cultivation in Hilly and Mountainous Areas